مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷، شمارهٔ پیاپی ۳۰

DOI: 10.22067/geography.v16i1.65102

تحلیل الگوهای گردشی مؤثر بر بارش‌های رگباری ناحیهٔ کوهپایه‌ای داخلی ایران

محسن فنودی (دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، نویسندهٔ مسئول)
mohsenfanoodi1346@gmail.com
کمال امیدوار (استاد اقلیم‌شناسی دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران)
komidvar@yazd.ac.ir
احمد مزیدی (دانشیار اقلیم‌شناسی دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه یزد، یزد، ایران)
amazidi@yazd.ac.ir
رضا دوستان (استادیار اقلیم‌شناسی ، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران)
doostan@um.ac.ir

صص ۱۶۳ ـ ۱۳۷

چکیده

اهداف: هدف تحقیق، شناسایی الگوهای گردشی سطوح میانی جو بارش‌های رگباری در ناحیهٔ کوهپایهٔ داخلی ایران است.
روش: به منظور فوق، داده‌های از ۳۰ سالهٔ (۲۰۱٤-۱۹۸۵) کدهای هواشناسی جهانی ۸۰ تا ۹۹ ایستگاه‌های هم‌دید سازمان هواشناسی کشور استفاده شد.. بارش رگباری هم‌دید، بارشی است که حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها حادث شود. بنابراین، ۸۰ رگبار مشترک مبنای شناسایی الگوهای جوی است که با روش تحلیل مؤلفهٔ اصلی و خوشه‌بندی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال تعیین شد.
یافته‌ها/ نتایج: از ۷ الگوی گردشی به دست آمده در اثر خوشه‌بندی، بیشترین تعداد روزهای رگباری، از الگوی جوی اول تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در ماه مارس، آوریل و می (فصل بهار) تبعیت می‌کند. بیشترین مقادیر بارش این الگو در نواحی غربی و شمال غرب منطقه پدید آمده است. این الگو حاکی از شکل‌گیری مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته در دریای سیاه است که باعث شیو ژئوپتانسیل در منطقه و توسعهٔ امواج کژفشار در مناطق شرقی ناوه می‌شود. بسته بودن مرکز کم‌ارتفاع (سرد چال) باعث کندی حرکت سامانه‌های غربی در کوهپایهٔ داخلی ایران و ادامهٔ بارش‌ها شد. با

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰۳/۲٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۰٦/۲۷

بررسی الگوهای گردشی سطح زمین، نواحی غربی و شمال غرب منطقهٔ مطالعه‌شده در این الگو، تحت تأثیر پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال غرب اروپا و نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر مرکز کم‌فشار قرار دارد. در این الگو وجود پشتهٔ قوی در شمال دریای مدیترانه و سرد چال در شرق دریای سیاه، باعث تقویت وضعیت کژفشار در سطح زیرین جو شده است. بنابراین، با توجه به همگرایی زیاد در تراز پایین، مهیا بودن شرایط برای صعود و تاوایی مثبت بالا و واگرایی در تراز میانی جو، بارش‌های رگباری مناسبی (بیش از ۴۰ میلیمتر)، عمدتاً در نواحی شمال غرب منطقه می‌ریزد. در این الگو، زبانه‌های پر فشار، رطوبت را از دریای خزر به شمال غرب و غرب منطقه منتقل کرده و نقش حرکت چرخندی سیستم جنوب غربی در تقویت رطوبت از دریای عرب و خلیج فارس به منطقه مشهود است.

نتیجه‌گیری: بارش‌های رگباری مرتبط با سرد چال یا مرکز کم‌ارتفاع عمیق در لایه‌های فوقانی جو است. همچنین، وجود پشتهٔ قوی غرب اروپا و ریزش هوای سرد عرض بالا باعث تقویت مرکز فرابار در تراز پایین شده و زبانه‌های آن، جریانات شمالی و تزریق رطوبت خزری را به نواحی غربی منطقهٔ مطالعه‌شده موجب می‌شود. همچنین، روزهای رگباری کوهپایهٔ داخلی مرتبط با سیستم کم‌فشار جنوب و جنوب غربی و همگرایی سطوح پایین است.

کلیدواژه‌ها: بارش رگباری، الگوهای گردشی، تحلیل مولفهٔ اصلی و خوشه‌بندی، کوهپایهٔ داخلی ایران.

۱. مقدمه

بارش مهم‌ترین پدیده یا ویژگی محیط زیست است و تاکنون مطالعات فراوانی در بارهٔ عوامل ایجاد آن انجام شده است. سال‌های پرباران یا بسیار خشک هر دو در کیفیت محیط زندگی انسان نقش مؤثری دارند. در هر مکانی بارش زمانی اتفاق می‌افتد که هوای مرطوب و عامل صعود فراهم شود. هر دوی این شرایط به وسیلهٔ الگوهای گردش اتمسفر فراهم می‌شوند (علیجانی، ۱۳۸۸، ص. ۲۰۳). معروف‌ترین و اولین کار در این زمینه به وسیلهٔ کلاین[1] در

1. Klein

سال ۱۹٤۸ انجام شد و نشان داد که در جلوی فرود در محدودۀ پیشروی تاوایی مثبت، شدت بارندگی بیشتر است. بارش‌های سنگین به‌عنوان عاملی مخاطره انگیز در بروز حوادث طبیعی همانند سیل مطرح است از این رو مطالعۀ هم‌دیدی سیستم‌های مولد آن می‌تواند نقش مهمی در تشخیص به موقع و کنترل سیلاب و کاهش خسارات داشته باشد (عزیزی و صمدی، ۱۳۸٦، ص. ۷٤). توجه به افزایش وقوع سیل‌ها با شدت‌های بالا و افزایش فراوانی وقوع آن‌ها در چند سال اخیر بحث‌های جدیدی را دربارۀ با رگبارها و تغییرات شدت بارندگی مطرح کرده است. منشأ بسیاری از سیلاب‌های عظیم باران‌هایی است که به صورت رگبارهایی با شدت زیاد، تداوم نسبتا طولانی، تکرارهای متوالی و یا در سطح وسیعی از منطقه رخ می‌دهند (امیدوار، ۱۳۹۰، ص. ۱۸۹). بارش به‌عنوان یکی از نعمت‌های الهی، همیشه آبادانی و سرسبزی طبیعت را به همراه دارد؛ ولی هنگامی که بشر با فعالیت‌های نادرست خود بستر نزول این نعمت را خراب کرده باشد، پیامدهای آن بیشتر زیانبار خواهد بود (براتی، بداق جمالی و ملکی، ۱۳۹۱، ص. ۸۵). وقوع بارش‌های رگباری و شدید از جمله ویژگی‌های آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک است که موجب بروز سیل می‌شود. وقوع چنین بارش-هایی حاصل ترکیب شرایط هم‌دیدی و محیطی است. عبور چرخندهای مدیترانه‌ای مهم‌ترین عامل بروز بارش های سیل‌آسا در ایران است؛ اما در برخی مناطق ایران از جمله نواحی جنوبی و جنوب غربی، اثری از سیکلون‌های مدیترانه‌ای نیست و اگر این سامانه با سایر سامانه‌های ورودی به ایران از جمله سامانۀ کم فشار سودانی و شرایط صعود محلی مانند گرمای زمین همراه شوند بارش‌های شدیدتری رخ می‌دهد. در مجموع، در زمان حدوث بارش‌های رگباری، هوای سرد و بسیار مرطوب، هم‌گرایی شدید سطوح پایین و واگرایی شدید سطوح بالا، کاهش ضخامت اتمسفر و ارتفاع سطوح هم‌فشار اتفاق می‌افتد (گندمکار، ۱۳۹۱، ص. ۱۱۵).

با توجه به وسعت و اهمیت بسیار زیاد اقتصادی و اجتماعی منطقۀ مطالعه‌شده در ایران که جنوب رشته‌کوه البرز و شرق رشته‌کوه زاگرس را در بر می‌گیرد، ضرورت ایجاب می‌کند که با استفاده از این تحقیق، الگوهای گردشی به وجود آورندۀ بارش‌های رگباری و خسارت‌زا شناسایی شوند، بدین منظور می‌توان از حداقل یک یا دو روز قبل، با رؤیت آغاز توالی

الگوهای مختوم به ایجاد بارش‌های رگباری و سیل‌آسا، وقوع آن را پیش‌بینی کرد، در این صورت فرصت کافی برای ایجاد آمادگی های لازم وجود دارد.

هدف از اجرای این تحقیق، شناسایی الگوهای گردشی و عوامل پدیدآورندهٔ بارش‌های رگباری در ناحیهٔ کوهپایه‌ای داخلی ایران (جنوب رشته‌کوه‌های البرز و شرق رشته‌کوه‌های زاگرس) و چگونگی شکل‌گیری آن‌ها است که در چه زمان‌هایی از سال احتمال تکوین آن‌ها بیشتر است و در چه زمان‌هایی بیشتر در منطقه پیدا می‌شوند و همچنین چه مشابهت و یا تفاوت هایی با همدیگر دارند.

۲. پیشینهٔ تحقیق

تاکنون برای شناسایی رگبارها و بارهای سنگین در دنیا مطالعات زیادی صورت گرفته است. از آن جمله در پژوهشی عواملی چون کوهستانی بودن و جزیرهٔ گرمایی در شهر توکیو را علل اصلی افزایش روزهای با بارش سنگین این منطقه دانستند (یونتانی[1]، ۱۹۸۲، ص. ۱٤٦٦). در تحقیقاتی الگوی فضایی زمانی بارش‌های سنگین جنوب شرق ایالات متحده بررسی شد و نتیجه گرفته شد که مکانیسم غالب رخدادهای فرین بارش در سراسر منطقهٔ مطالعاتی سیستم جبهه‌ای به ویژه جبههٔ سرد است که سبب صعود سریع هوا و شکل‌گیری تندر می‌شود (کیم [2]، ۱۹۹٦، ص. ۲٤). در تحقیقاتی، کم فشارهای شکل‌گرفته در شرق فلات تبت و تقویت آن‌ها در تنگهٔ تایوان و ناپایداری محلی را عامل شکل‌گیری بارش شدید ژوئن ۲۰۰۹ در جنوب غرب تایوان معرفی کردند (چن و لیو[3]، ۲۰۰۹، ص. ۲۳۵). با بررسی بارش-های سنگین ناحیهٔ لانگدوک فرانسه به این نتیجه رسیدند که رخداد بارش‌های سنگین منطقه در ارتباط با افزایش دمای سطح آب مدیترانه، فاز منفی شاخص‌های نوسان مدیترانه و نوسان غرب مدیترانه است (ترمبلی و نجیب[4]، ۲۰۱۰، ص. ۱۲). جهت تشخیص الگوهای هم‌دیدی باران سنگین بر اساس روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، همچنین ارزیابی کمی شرایط

1. Yonetani
2. Keim
3. Chen & Liu
4. Tramblay & Najib

ترمودینامیکی باران مداوم و سنگین، جمهوری چک را مطالعه کردند (کاسپار و مولر[1]، ۲۰۱۰، ص. ٤۷۷). در تحقیقاتی شکل‌گیری جت سطح پایین از الگوی بزرگ مقیاس را عامل اصلی بارش‌های سنگین جنوب شرق ایتالیا دانستند (ماسترانگلو و میگلیتا[2]، ۲۰۱۱، ص. ٥۸٦). هورلینگ و چنگ در پژوهشی با به‌کارگیری صدک ۹٥، بارش‌های فرین روزانهٔ آمریکا را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد که تغییرات دمای سطح دریا بر رخداد بارش‌های فرین در مناطق شمالی در تابستان و کاهش بارش‌های فرین در زمستان در مناطق جنوبی آمریکا تأثیرگذار است (هورلینگ و چنگ[3]، ۲۰۱٦، ص. ۲۳۱).

در ایران با بررسی هم‌دیدی بارش‌های بیش از ۱۰۰ میلیمتر ناحیهٔ خزری نتیجه گرفته شد که بارش‌های سنگین این منطقه ناشی از ورود جبههٔ تقویت‌شدهٔ نسیم دریا است که توسط سیستم‌های هم‌دیدی تقویت شده‌اند (خوشحال، ۱۳۷٦، ص. ۳٥). در بررسی بارش‌های حدی پاییزهٔ سواحل شمالی ایران به این نتیجه رسیدند که استقرار مرکز پرفشار غرب دریای خزر و تاوایی منفی روی دریا در ترازهای پایین جو همراه با جریان‌های شدید و غالب شمالی – جنوبی، از عوامل اصلی ایجاد بارش‌های شدید و حدی پاییزه هستند (مفیدی، زرین و جانباز قبادی، ۱۳۸٦، ص. ۱۳۱). نتایج پژوهشی گویای وجود اختلاف معنی دار در آرایش الگوها، فراوانی تیپ‌های هوا و مسیر حرکت آن‌ها به سوی ایران است. به عبارتی، علل تنوع رژیم‌های بارش، دما و به تبع آن دوره‌های خشک و مرطوب، سرد و گرم در ارتباط با نوع الگوهای گردشی و فراوانی آن‌ها قابل بررسی است (فتاحی، رضیئی، ۱۳۸۸، ص. ٤٥). در بررسی عامل اصلی ایجاد بارش‌های شدید پاییزهٔ تهران، نفوذ استقرار سامانهٔ پرفشار سیبری و تشکیل سردچالی وسیع بر روی دریای خزر و مرکز ایران را مؤثر دانستند (امیدوار، حسن بیگی و رحیمی، ۱۳۹۲، ص. ٤۸٦). بررسی سهم بارش‌های هم‌رفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری طی دورهٔ ۲ ساله به این نتیجه منجر شد که نقش عامل هم‌رفت در رخداد بارش‌های دورهٔ گرم منطقه بسیار ناچیز است و به‌عنوان یک عامل ثانویه به شمار می‌رود (معصوم‌پور، میری، ذوالفقاری و یاراحمدی، ۱۳۹۲، ص. ۲۲۷). در تحقیقی رخداد بلاکینگ را یکی از

1. Kaspar & Müller
2. Mastrangelo & Miglietta
3. Hoerling & Cheng

عوامل اصلی رخداد بارش‌های مداوم و سنگین دانستند (درگاهیان، علیجانی، محمـدی، ۱۳۹۳، ص. ۱۵۵). در پژوهشی نمایه‌های ناپایداری هنگام رخداد پدیده‌های آب و هـوایی مخـرب در شهر مشهد را بررسی کردند که ترکیب نمایهٔ صعود، انرژی پتانسـیل در دسـترس هـم‌رفتـی و نمایهٔ صعود و سطح تعادل به‌عنوان بهترین نمایه‌های ترکیبی معرفی شدند (صالحی، ثنایی‌نـژاد، موسوی بایگی، ۱۳۹۳، ص. ۱۱۳). با بررسی بارش سنگین بهمن ۱۳۸۹ اسـتان کرمـان بـه ایـن نتیجه رسیدند که عامل اصلی ایجاد این بارش، تشکیل کم‌ا رتفاع بریده بر روی دریای مدیترانه است (امیدوار، محمودآبادی و صفرپور، ۱۳۹٤، ص. ۲۱). در تحلیل هـم‌دیـدی بـارش شـدید منجر به سیل تیرماه ۱۳۹٤ استان‌های تهران و البرز نتیجـه گرفتـه شـد کـه شـکل‌گیـری مرکـز پرفشار سطحی بر روی اروپا و گسترش زبانه‌های آن بر روی خزر و دامنه‌هـای البـرز از یـک طرف و گسترش زبانه‌های کم‌فشار حرارتی نیمهٔ جنوبی به عرض‌های بالـایی از طـرف دیگـر، سبب تقابل این دو زبانهٔ فشاری و فرارفت هوای سرد توسط زبانـهٔ پرفشـار و فرارفـت هـوای گرم توسط زبانهٔ کم‌فشار شده و شرایط کژفشاری و ناپایداری سطحی را فـراهم کـرده اسـت؛ هم‌زمان در ترازهای بالایی جو نفوذ ناوهٔ تراز میانی بر روی غرب و به‌ویژه شمال غـرب ایـران و قرارگیری استان‌های دامنهٔ جنوبی البرز در زیر ناحیه واگرایی بالایی این مـوج؛ یعنـی منطقـهٔ تاوایی مثبت، به همراه واشار بودن این ناوه، سـبب صـعود شـدید و سـریع هـوا و در پـی آن توسعهٔ ابرهای کومه‌ای و ریزش‌های سیل‌آسا در این نواحی شده است (زارع نیسـتانک، ۱۳۹٤. ص. ۵۳). در واکاوی آماری – هم‌دیدی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران نشان داده شـد که روند مکانی این پدیده از غرب به شرق کـاهش مـی‌یابـد و پتانسـیل رخـداد آن در اسـتان بوشهر بیش از هرمزگان است. از نظر زمانی، بیشـترین رخـداد ایـن پدیـده در پـاییز بـا ٤۵ و زمستان با ٤۳ درصد ثبت شده است. در مقیاس ساعتی تفاوت قابـل تـوجهی در سـاعت‌هـای متفاوت مشاهده نمی‌شود و امکان رخداد آن در همهٔ ساعت‌ها به‌ویژه بـه‌هنگـام صـبح محلـی وجود دارد. نتایج هم‌دیدی حاکی از نفوذ بادهای غربی تا جنوب عربستان و قرارگیـری ناحیـهٔ واگرایی و منطقهٔ فرارفت تاوایی مثبت روی منطقهٔ بررسی‌شده اسـت کـه شـرایط ناپایـداری و صعود هوا را ایجاد می‌کند. گسترش بادهای غربی یا ناشی از شکل‌گیری سامانه‌های بنـدالی در تراز میانی جو و یا ناشی از وزش نصف‌النهاری آن‌ها و فرارفت هوای سرد از اروپا یـا شـمال

آسیا روی شرق مدیترانه است. مقادیر حاصل از شاخص‌های ترمودینامیکی در این منطقه نشان داد که هم‌رفت و ناپایداری‌های ایجادشده تحت تأثیر شرایط محلی، عامل اصلی رخداد این پدیده نیستند و در صورت فراهم شدن شرایط مناسب در ترازهای بالایی جو، هم‌رفت در حکم عامل تشدیدکنندهٔ این پدیده محسوب می شود (معصوم پور سماکوش، میری، رحیمی، ۱۳۹۵، ص. ٦۹۷).

۳. روش‌شناسی تحقیق

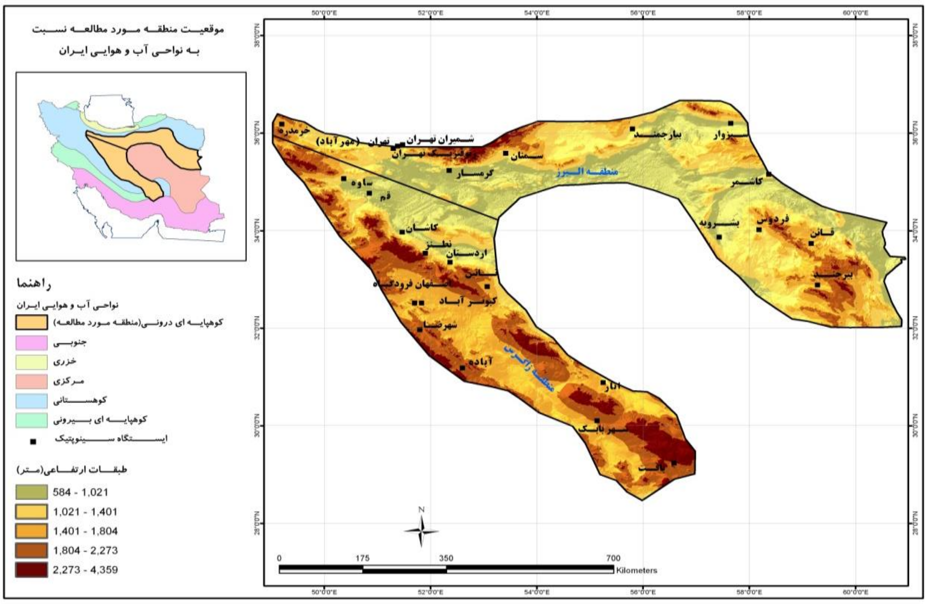
دو رویکرد عمده در مطالعات اقلیم‌شناسی هم‌دید مورد توجه است. این دو رویکرد عبارتند از رویکرد گردشی به محیطی و رویکرد محیطی به گردشی (مسعودیان، ۱۳۸۵، ص. ۳۸). در این تحقیق از رویکرد هم‌دیدی محیطی به گردشی استفاده شد. بدین صورت که ابتدا آمار و اطلاعات کدهای هوای حاضر و گذشتهٔ ایستگاه‌ها شامل کدهای ۸۰ تا ۹۹ که مربوط به رگبار و یا بارندگی‌های شدید همراه با رعد و برق است، از آمار دیده‌بانی‌های ثبت‌شده در ۵۰ ایستگاه هم‌دید منطقهٔ مطالعه‌شده در دورهٔ آماری ۳۰ سالهٔ ۱۹۸۵ تا ۲۰۱٤ میلادی استخراج شد و سپس روزهایی که دارای این پدیده (کد ۸۰ تا ۹۹) بودند، مشخص شدند و بعد از آن روزهای رگباری که حداقل در ۵۰ درصد ایستگاه‌های منطقهٔ مطالعه‌شده مشاهده شده بودند از بین کل داده‌های آماری استخراج شدند، در نتیجه ۸۰ روز رگباری شناسایی شد. سپس بر اساس داده‌های ارتفاعی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال روزهای فوق که بهترین تراز نشان‌دهندهٔ چگونگی شکل‌گیری رگبارها است، خوشه‌بندی بر اساس فواصل اقلیدسی و ادغام آن به روش وارد در محیط نرم‌افزار آماری SPSS بر روی داده‌ها به‌منظور شناسایی الگوهای گردشی به وجود آورندهٔ این رگبارها انجام شد.

در ادامه داده‌های مربوط به سرعت قائم (امگا)، مؤلفه‌های باد مداری و نصف‌النهاری و تاوایی الگوهای حاصله از خوشه‌بندی در قلمرو جغرافیایی ۱۰ تا ۸۰ درجهٔ طول شرقی و ۱۰ تا ۷۰ درجهٔ عرض جغرافیایی شمالی با قدرت تفکیکی مکانی ۲/۵ × ۲/۵ درجه تهیه شدند و

سرانجام نقشه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزارهای سورفر[1] و گردس[2] ترسیم و تجزیه و تحلیل شد.

۳. ۱. منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ مطالعه‌شده بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ تا ٦۱ درجهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳٦ درجهٔ شمالی واقع شده است. این منطقه دامنهٔ جنوبی رشته‌کوه البرز و دامنهٔ شرقی رشته‌کوه زاگرس را در بر می گیرد و به نام ناحیهٔ کوهپایه‌ای داخلی ایران، یکی از ٦ ناحیهٔ آب و هوایی ایرا ن مشهور است (شکل ۱).



شکل ۱- موقیت جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده و ایستگاه‌های هم‌دید

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

ناحیهٔ کوهپایه‌ای داخلی ایران که کوهپایه‌های داخلی سلسله جبال البرز و زاگرس در اطراف چاله‌های مرکزی را تشکیل می‌دهند (علیجانی، ۱۳۸۸، ص. ۱۹۳). به علت محصور شدن کوهستان‌های مرتفع البرز و زاگرس خشک‌تر و بری‌تر از سرزمین‌های کوهپایه‌ای بیرونی

1. Surfer
2. Grads

(شمال رشته‌کوه البرز و غرب رشته‌کوه زاگرس) هستند. بدین جهت، علیرغم تشابه توپوگرافیک از نظر آب و هوایی به دو ناحیۀ متمایز از همدیگر تقسیم شده‌اند. این ناحیه علاوه بر کوهپایه‌های زاگرس، کوه‌های منفرد مرکزی را نیز دربر می گیرد، مرز جنوبی آن به ارتفاعات کرمان که جزء ناحیۀ کوهستانی هستند ختم می‌شود..کوهپایه‌های البرز نیز از تهران تا مرز افغانستان ادامه دارد.ماهیت بری بودن ناحیه سبب بی‌نظمی بارندگی آن شده است و در بیشتر موارد بارش‌های بسیار سنگین و رگباری می‌بارد. این بدان معنی است که همیشه عامل صعود و هوای مرطوب برای بارش فراهم نیست و فقط به‌صورت اتفاقی این شرایط فراهم می‌شود و بارش‌های رگباری هم ایجاد می‌شود. به طور متوسط در کل ناحیه ممکن است تا ۲۱ درصد از بارندگی سالانه در یک روز ببارد. این درصد در این ناحیه بیشتر از ناحیۀ کوهپایه ای بیرونی است و نشان می‌دهد آب و هوای کوهپایه‌ای داخلی به شرایط بیابانی نزدیک‌تر است. در واقع وضعیت بارندگی در ناحیۀ کوهپایه‌ای داخلی بسیار متغیر و غیر قابل اطمینان است؛ به همین جهت است که همیشه مشکلات ناشی از بارندگی در این ناحیه بیشتر از نواحی دیگر آب و هوایی ایران است.

٤. یافته‌های تحقیق

براساس یافته‌های به دست آمده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تعداد هفت مؤلفۀ نخست که مجموعاً ۸۰ درصد کل پراش داده‌ها را شامل می شوند، برای تعیین الگوهای گردش جوی انتخاب شدند. جدول (۱) مقادیر ارزش ویژه، واریانس و واریانس افزایشی مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال منطقه

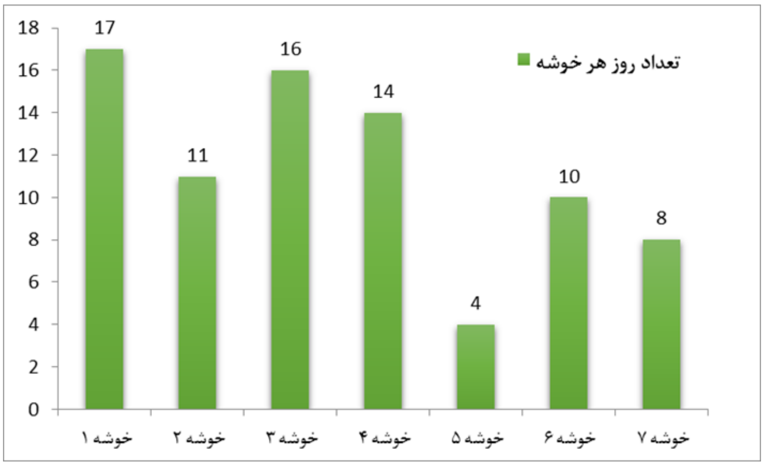
مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹٦

شمارۀ مؤلفه	ارزش ویژه	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس
۱	۲۳۵/۸٦٤	۳۲/۵۳۳	۳۲/۵۳۳
۲	۱۱۱/٤۲۰	۱۵/۳٦۸	٤۷/۹۰۱
۳	۷۱/٤۱٦	۹/۸۵۱	۵۷/۷۵۲
٤	۵۹/۱۵۷	۸/۱٦۰	٦۵/۹۱۱

ادامه جدول ۱

شمارهٔ مؤلفه	ارزش ویژه	درصد واریانس	درصد افزایشی واریانس
٥	٥٢/٣٢٩	٧/٢١٨	٧٣/١٢٩
٦	٣٠/٣٦٩	٤/١٩٣	٧٧/٣٢٢
٧	٢٥/٦١٢	٣/٥٣٣	٨٠/٨٥٥

۸۰ روز نماینده از همهٔ روزهای مطالعه‌شده (۱۹۳۳۳روز) در ۵۰ ایستگاه هم‌دید منطقه طی دورهٔ آماری ۳۰ سالهٔ ۱۹۸۵ تا ۲۰۱٤ میلادی به روشی که در بخش پیشین گفته شد و با انجام تحلیل خوشه‌ای با فواصل اقلیدسی و بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال به روش ادغام وارد[1]، ۷ خوشه (الگوی گردشی) موجد رگبار شناسایی شد. فراوانی تعداد روزهای هر خوشه در شکل شمارهٔ (۲) نشان داده شده است.

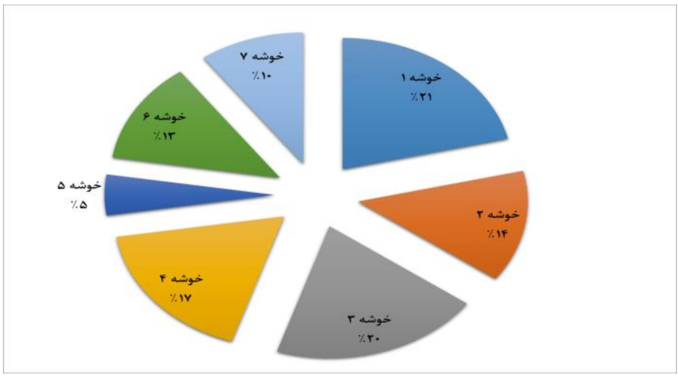


شکل ۲- فراوانی تعداد روزهای رگباری در هر خوشه بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

الگوی خوشهٔ اول با ۲۱ درصد دارای بالاترین فراوانی وقوع و الگوی خوشهٔ سوم با ۲۰ درصد به ترتیب در منطقه مطالعه‌شده با بالاترین میزان فراوانی رخداد همراه بوده‌اند (شکل ۳).

1. ward



شکل ۳- درصد فراوانی روزهای رگباری در هر خوشه بر اساس داده‌های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال

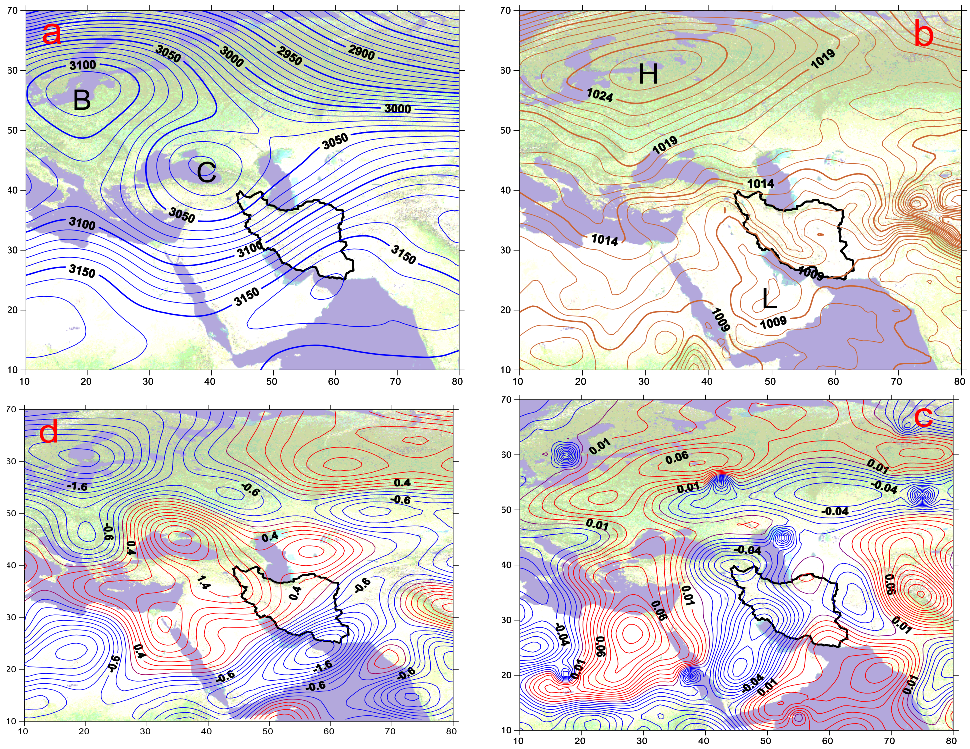
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

سپس نقشه‌های ترکیبی این الگوها که متناوب‌ترین الگوهای گردش جوی در ناحیهٔ مطالعه شده هستند، ترسیم شدند. با توجه به موقعیت مؤثرترین پدیده در الگوی گردشی هر یک از خوشه‌های منطقهٔ مطالعاتی، برای هر یک از آن‌ها اسم خاصی انتخاب شد.

الگوی سردچال دریای سیاه (خوشهٔ ۱): دارای فراوانی ۲۱ درصد است که ۱۷ روز از روزهای دارای رگبار در منطقهٔ مطالعه‌شده از این الگو پیروی می‌کند (شکل ٤). در سطح زمین، گسترش کم‌فشار جنوب شرقی و ادغام آن با زبانهٔ پرفشار باعث انتقال رطوبت و حرکات تلفیقی بین دو سیستم شده که با توجه به شرایط موجود امکان تزریق رطوبت در نواحی غربی منطقهٔ مطالعه‌شده از سایر نقاط بیشتر فراهم است. با توجه به نحوهٔ جابه جایی سیستم، گسترش رطوبت از نواحی غربی به سمت شرق ناحیه به میزان کمتری رخ داده است؛ ضمن این‌که ناحیهٔ جنوب غربی منطقه تحت تأثیر کم‌فشار مستقر بر روی کشور عربستان و امواج گسترش‌یافته از منطقهٔ دریای عمان و خلیج فارس امکان وقوع بارش‌های رگباری را فراهم کرده است (شکل ٤b). در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال ناوهٔ عمیقی در نواحی شرقی دریای سیاه و مدیترانه تشکیل شده است که گسترش نصف‌النهاری محور آن تا جنوب غرب دریای سرخ گسترش یافته است (شکل ٤a). بسته بودن این مرکز کم‌ارتفاع و بلاکینگ آن توسط دو پشتهٔ پرارتفاع در غرب و شرق آن باعث کندی حرکت و تأثیر دینامیکی عمیق‌تر آن بر سطح زمین و ایجاد تاوایی مثبت قوی تریدر نیمهٔ شمالی-غربی کشور شده است (شکل ٤d). وجود سرعت قائم (امگا) منفی خصوصاً مقادیر بالای

امگای منفی در غرب منطقهٔ مطالعه‌شده از شمال تا جنوب (شکل4c) و تاوایی مثبت بالا، با توجه به شرایط مناسب همگرایی در سطح زمین و واگرایی در جانب شرق ناوه، باعث وجود ناپایداری‌های شدید، صعود بالا و رگبارها در منطقه خصوصاً نواحی غربی آن شده است.

بیشترین بارش‌های رگباری این الگو، در ایستگاه‌های شمیران تهران (۳۲ میلیمتر)، کاشان (۲۹/۲ میلمتر)، تهران (۲۹ میلیمتر)، شهریار (۲۸/۳میلیمتر)، تفرش (۲۸ میلیمتر)، آوج (۲۷/٦ میلیمتر)، نجف آباد (۲۷ میلیمتر)، خرمدره (۲٦/۲ میلیمتر) و بویین زهرا (۲۵/۳ میلیمتر) ثبت شده است.

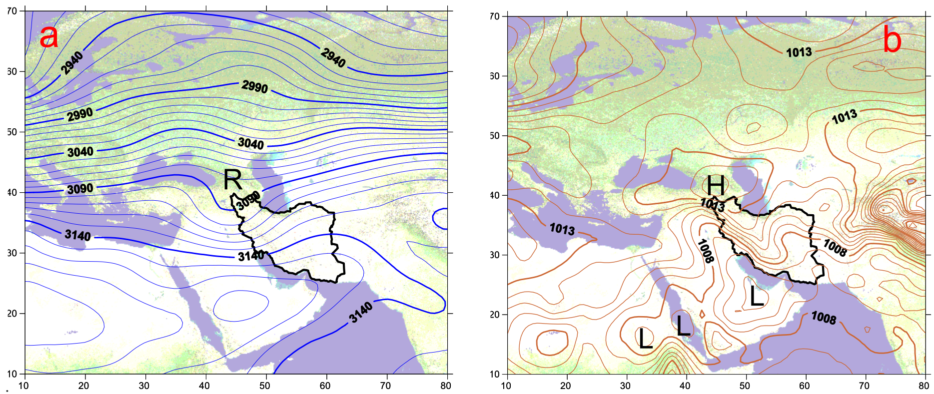


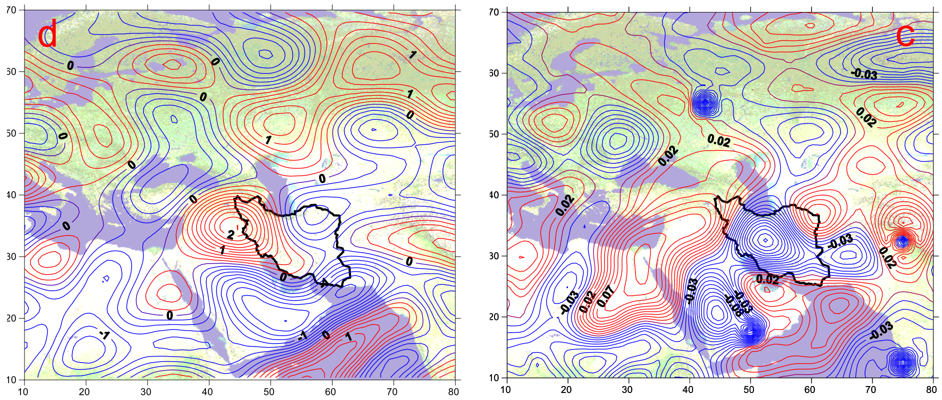
شکل ٤- نقشهٔ الگوی سردچال دریای سیاه (a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

الگوی ناوه‌ای غرب ایران (خوشهٔ ۲): دارای فراوانی ۱٤ درصد است که ۱۱ روز رگباری در منطقهٔ مطالعه‌شده از این الگو پیروی می‌کند. در نقشهٔ سطح زمین این خوشه (شکل ۵)، مرکز پر

فشاری در غرب دریاچهٔ خزر با پربند بسته ۱۰۱۵ هکتوپاسکال بسته شـده اسـت. همچنـین، مرکـز کم‌فشاری بر روی جنوب شرق کشور دیده مـی‌شـود. حرکـت چرخنـدی ایـن کـم‌فشـار توسـط حرکات واچرخندی پرفشار غرب خزر تقویت شده است. انتقال رطوبت از منطقهٔ تشکیل موسـمی هند، همچنین دریای خزر به منطقهٔ مطالعه‌شده صورت گرفته است. تشکیل جبهه بر روی منطقـه و انتقال رطوبت مناسب به دامنهٔ جنـوبی البـرز و شـرقی زاگـرس از روی دریـای خـزر و همچنـین رطوبت نواحی شرقی منطقهٔ مورد نظر از اقیانوس هند و دریای عمان تـأمین شـده اسـت. در تـراز ۷۰۰ هکتوپاسکال این الگو (شکل ۵a)، ناوه‌ای بر روی مرزهای غربی کشور دیده می‌شود و منطقـهٔ مطالعه‌شده در جانب شرقی ناوه قرار دارد. بنابراین، شرایط برای واگرایی در سطوح بالای جـو مهیـا است. در این الگو که بیشتر در فصول گرم سال رخ می‌دهد بـه خـوبی تأثیرپـذیری از تضـعیف یـا عقب‌نشینی سامانهٔ پرارتفاع جنب‌حاره باعث تقویـت کـم‌فشـار سـطحی گشـته و ناپایـداری‌هـا را افزایش داده و باعث بارش‌های رخ‌داده در کشور می‌شود. افزایش دمای لایه‌های فوقانی جو، باعـث تقویت حرارتی کم‌فشار مستقر بر روی عربستان شده و به دنبال آن شیو فشاری خصوصاً در غـرب منطقه فراهم شده است (شکل ۵b) که به شدت ناپایداری‌ها در ناحیـه کمـک کـرده اسـت. مقـادیر بالای امگای منفی (شکل ۵c) و تـاوایی مثبـت (شـکل ۵d) بـه‌ویـژه در غـرب منطقـه نیـز وجـود همگرایی، صعود و وقوع رگبارها در منطقهٔ مطالعه‌شده را تأیید می‌کند. بیشترین بارش‌های رگبـاری این الگو، در ایستگاه‌های آوج (۲۸ میلیمتر)، تفرش(۲۷ میلیمتر)، خرمدره (۲۶/۷ میلیمتر)، شـمیران تهران (۲۶ میلیمتر)، چیتگر (۲۳ میلیمتر) و ژئوفیزیک تهران (۲۴ میلیمتر) ثبت شده است.



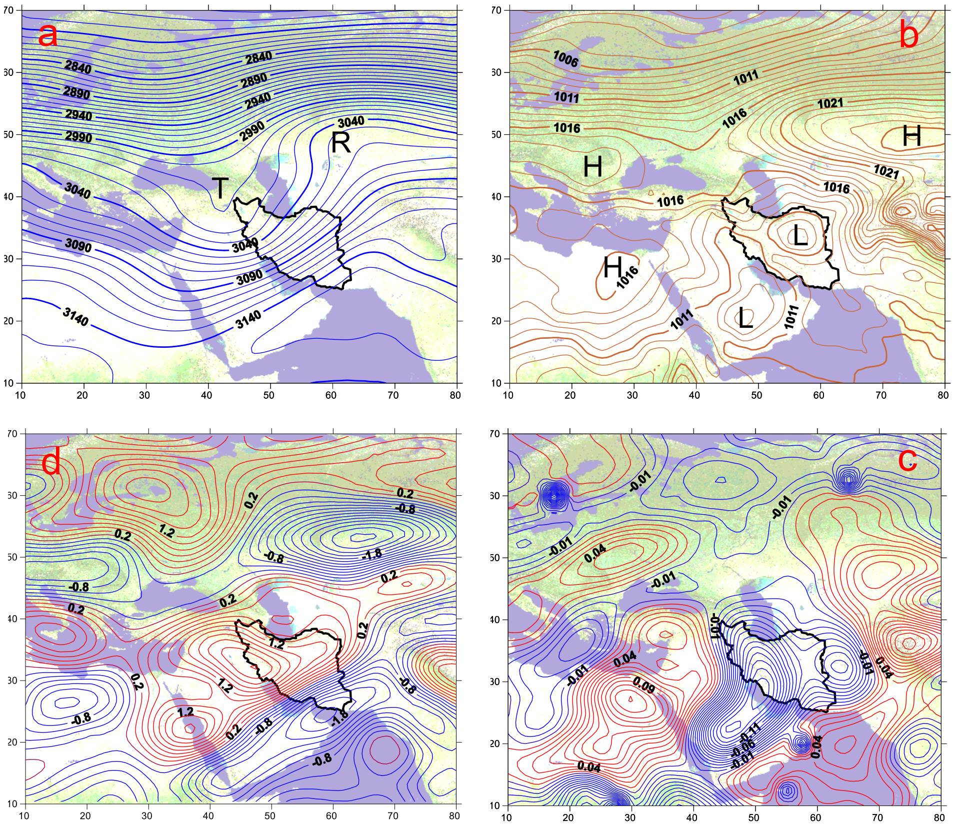


شکل ۵- نقشهٔ الگوی ناوهٔ غرب ایران (a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

الگوی ناوه‌ای عمیق شمال غرب ایران (خوشهٔ ۳): دارای فراوانی ۲۰ درصد است که ۱٦ روز از روزهای با بارش رگباری از این الگو پیروی می‌کنند (شکل ٦)، فراوانی این الگو، بیشتر در اوایل فصل بهار ثبت شده است. بارش‌های رگباری بالای ٤۰ میلیمتر به‌ویژه در غرب منطقهٔ مطالعه‌شده در این خوشه ثبت شده است؛ از جمله در سلفچگان (۷۰/٦ میلیمتر)، آباده (۵۷ میلیمتر)، شهر بابک (٤۱ میلیمتر) و شهرضا (٤۰ میلیمتر)، بیشترین بارش‌های رخداده در این الگو هستند. علت اصلی بارش‌های شدید این الگو، عبور سامانهٔ کم‌فشار جنوبی (سودانی) و تزریق رطوبتی زیاد و همگرایی و گردش چرخندی ناشی از آن است. در نقشهٔ تراز دریا (شکل ٦b)، کل منطقهٔ مطالعه‌شده تحت تأثیر جریانات کم‌فشار قرار دارد. ضمن این‌که کم‌فشار واقع بر جنوب خلیج فارس (بر روی کشور عربستان) نیز با حرکت چرخندی خود ضمن انتقال رطوبت از دریای عرب و خلیج فارس، باعث تشدید بارش‌ها در منطقه شده است. همچنین، فعالیت سیستم کم‌فشار دینامیکی مستقر در مرکز منطقهٔ مطالعه‌شده و حرکت چرخندی ایجادشده باعث انتقال رطوبت از ناحیهٔ خزری به شمال غرب منطقه شده است و دیگر این‌که تأثیر زبانه‌های پرفشار واقع در غرب دریای سیاه نیز باعث تشکیل جبهه و شیب فشاری مناسب و بارش‌های رگباری در این ناحیه شده است. در سطوح فوقانی جو و در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ٦a)، ناوهٔ عمیقی با گسترش نصف‌النهاری در مرزهای غربی کشور دیده می‌شود. ناحیهٔ مطالعه‌شده بر جانب شرقی این ناوه

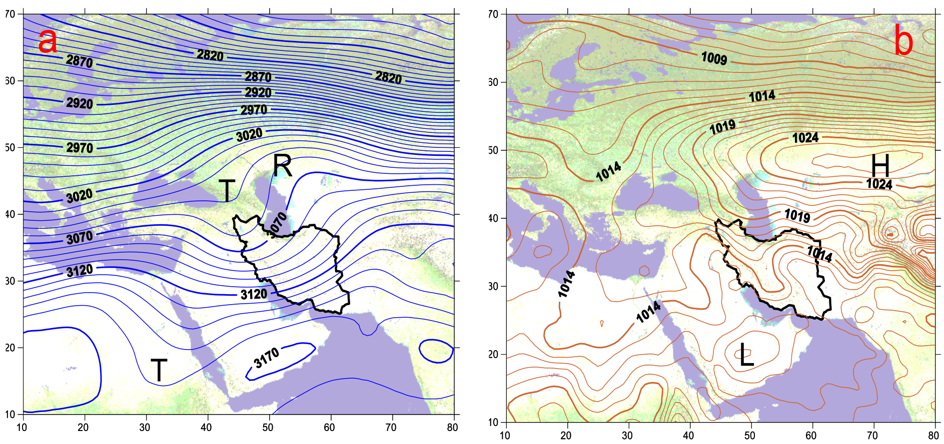
قرار گرفته است. بنابراین، گسترش تاوایی مثبت (شکل 6d) در لایه‌های زیـرین و واگرایـی در ایـن لایه، باعث صعود جریانات هوا و تشدید ناپایداری‌ها در منطقه شده است. ضمن این‌که پشـتهٔ واقـع در شرق دریاچهٔ آرال که در سطح زمین با سیستم پرفشار و تاوایی منفی همـراه اسـت، زمینـهٔ لـازم جهت کندی حرکت سامانهٔ فعال بر روی منطقه و تشدید بـارش‌هـا را فـراهم آورده اسـت. مقـادیر منفی امگا در منطقه، هم‌گرایی، صعود و تشکیل ابرهای جوشئی، شدت ناپایداری‌ها و بـارش‌هـای رگباری در منطقه را تأیید می‌کند (شکل 6c).

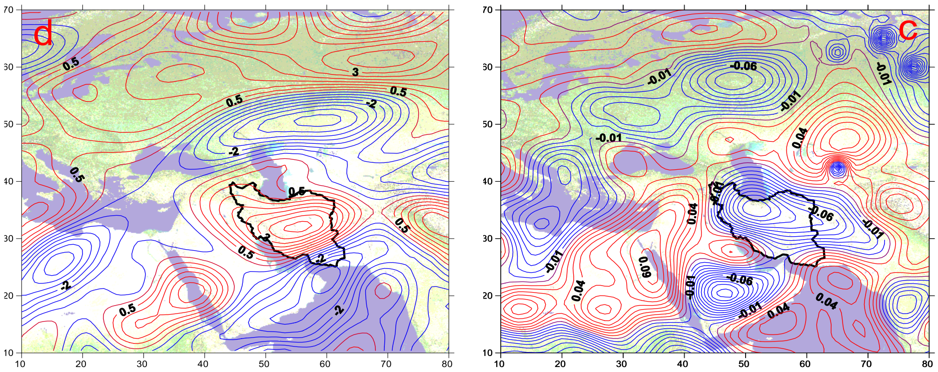


شکل ٦- نقشهٔ الگوی ناوهٔ عمیق شمال غرب ایران (a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ١٣٩٦

الگوی پشتهٔ شمال ایران (خوشهٔ ٤): دارای فراوانی ۱۷ درصد است که ١٤ روز از روزهای رگباری در منطقه مطالعه‌شده از این الگو پیروی می‌کند (شکل ۷). برابر نقشهٔ تراز دریا در منطقهٔ مطالعه‌شده (شکل ۷b)، یک سیستم کم‌فشار استقرار یافته که در نواحی غربی با زبانهٔ پرفشار واقع در شرق آرال ادغام شده و امکان تشکیل جبههٔ سرد و بارش‌های شدید را در این ناحیه از منطقه فراهم کرده است (بیشترین بارش‌های رگباری این الگو در قم ٤٠ میلیمتر، آوج ۳۵ میلیمتر، بیرجند ۲۹ میلیمتر، گرمسار ۲۸ میلیمتر، کاشان ٢٤/٨ میلیمتر، بیارجمند ٢٤ میلیمتر، شمیران تهران ٢٢/٤ میلیمتر و سبزوار ۲۳/٥ میلیمتر بوده است). نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر سسیتم کم‌فشار جنوب شرقی است. گردش واچرخندی سیستم پرفشار باعث تزریق رطوبت خزر به منطقهٔ تشکیل جبهه شده و در نواحی شرقی نیز امکان انتقال رطوبت از روی اقیانوس هند و دریای عمان با حرکت چرخندی سیستم کم‌فشار فراهم شده است. در تراز ۷۰۰ میلی باری (شکل ۷a) ناوهٔ عمیقی با شیو بالا بر روی مرزهای غربی کشور از جانب غربی دریاچهٔ خزر تا مرکز شبه‌جزیرهٔ عربستان قرار دارد که بخش‌های غربی منطقهٔ مطالعه‌شده تحت تأثیر تاوایی مثبت شرق ناوه است و نواحی شرقی منطقه از امواج شرقی ناوه، جهت ایجاد و ناپایداری رخ‌داده متأثر شده است. مقادیر بالای امگای منفی (شکل ۷c) به‌ویژه در شمال غرب منطقه و وجود تاوایی مثبت بالا (شکل ۷d)، شرایط همگرایی تراز زیرین، تزریق رطوبت و واگرایی در سطوح بالایی جو، وجود ناپایداری‌ها، صعود و تشکیل ابرهای جوششی و بارش‌های رگباری را به خوبی توجیه می‌کند.



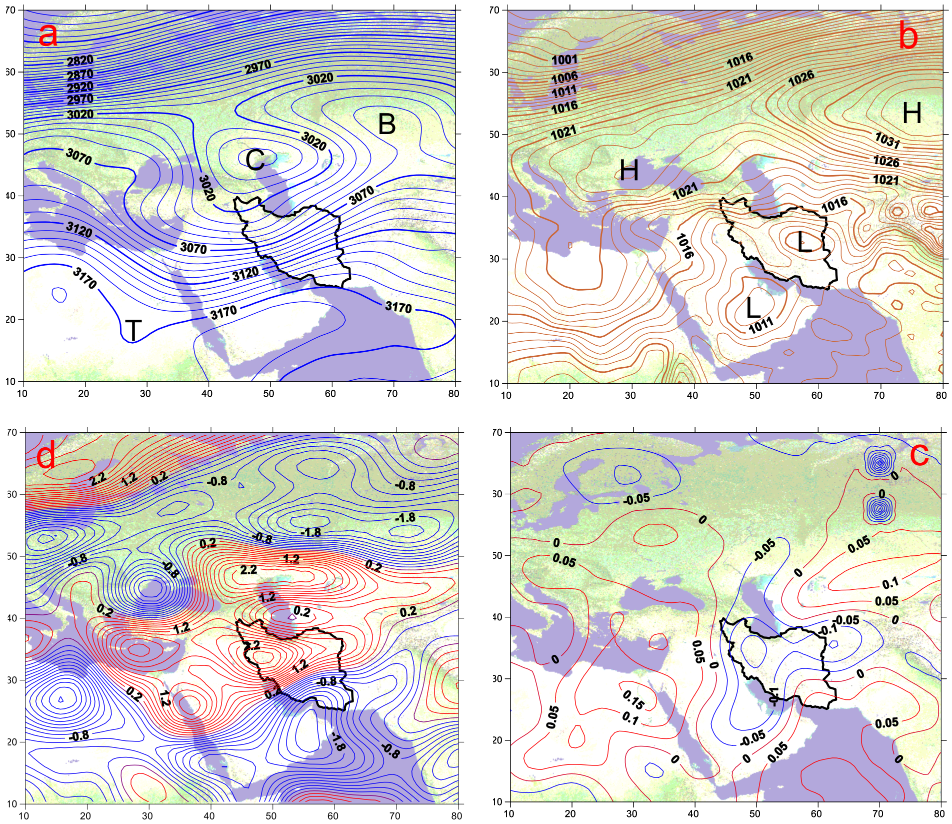


شکل ۷- نقشهٔ الگوی پشتهٔ شمال ایران(a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

الگوی سردچال شمال ایران (خوشهٔ ۵): دارای فراوانی ۵ درصـد اسـت کـه تعـداد روزهـای کمی (٤ روز) از روزهای دارای بارش رگباری در منطقه از این الگو پیروی می‌کننـد (شـکل ۸). در نقشهٔ سطح زمین این الگو (شکل ۸b)، مرکز کم‌فشاری در منتهی‌الیه شرق منطقهٔ مطالعـه‌شـده واقـع شده است. تعداد ایزوبارهای کمی از این سیستم امکـان عبـور از روی دریـای خـزر را دارنـد؛ امـا استقرار مرکز سرد و پرفشار واقع در خارج از مرزهای شرق کشور باعث کند شـدن جـا بـه جـایی این سیستم شده است. ضمن این‌که شاخهٔ شمالی آن نیز تحت تأثیر پرفشار واقع در مدیترانه اسـت. تزریق رطوبتی از منطقهٔ مذکور و همچنین دامنهٔ غربـی البـرز باعـث افـزایش بارنـدگی در نـواحی شمال غرب منطقهٔ مطالعه‌شده، شده است. بارش‌های نواحی شـرقی در ایـن الگـو، احتمالـاً تحـت تأثیر جریانات رطوبتی سایر الگوهای فعال در منطقه است. در تـراز ۷۰۰ هکتوپاسـکال (شـکل ۸a) گسترش ناوهٔ عمیق در نوار غربی کشور با مرکز بستهٔ ۲۰۹۰ ژئوپتانسیل متر، باعث ایجـاد کـم‌فشـار بریده، حرکت کند سیستم در سطوح فوقانی، تشکیل سامانهٔ دینامیکی و تأثیرگذاری بر مانـدگاری و اثر طولانی‌مدت سیستم بارشی در سطح زمین شده است. بررسی نقشهٔ امگـا در ایـن الگـو (شـکل ۸c)، نشان‌دهندهٔ وجود بیشترین مقدار امگای منفی در ناحیهٔ شمال غربی منطقهٔ مطالعـه‌شـده اسـت که منطبق بر ناپایداری‌های این سیستم در سطح زمین است. ضـمن ایـن‌کـه ایـن الگـو نسـبت بـه الگوهای دیگر دارای گرادیان و مقدار امگای کم‌تر است که این موضوع نیز عملکرد ضعیف‌تر ایـن الگو را تأیید می‌کند. الگوی تاوایی این خوشه نشان می‌دهد کـه در نـواحی شـمال و شـمال غـرب

منطقه بیشترین تاوایی مثبت رخ داده است و بارش‌های این سیستم بیشتر تحت تأثیر الگوهای واقع در غرب کشور است (شکل ۸d). بیشترین بارش‌های رگباری این الگو، در ایستگاه‌های خرمدره (۵۳ میلیمتر)، شمیران تهران (۳٦ میلیمتر)، شهرضا (۳۳ میلیمتر)، شرق اصفهان و آوج (۳۲ میلیمتر) ثبت شده است.



شکل ۸- نقشهٔ الگوی سردچال شمال ایران (a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

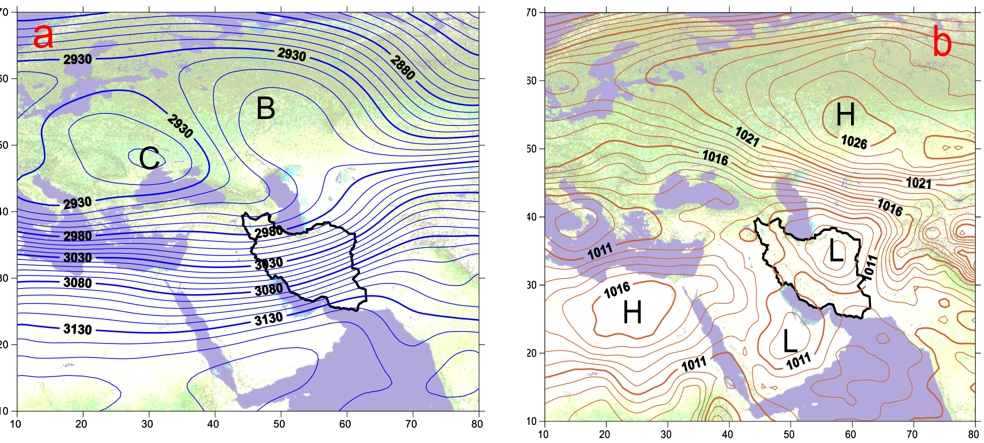
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

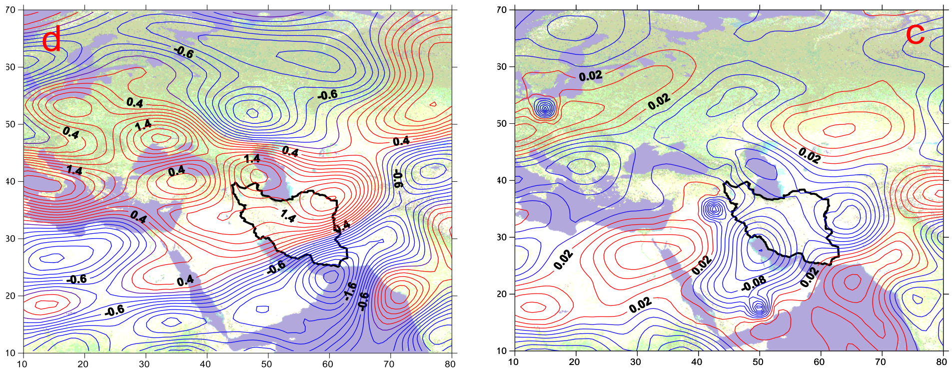
الگوی بلاکینگ شمال شرق ایران (خوشهٔ ٦): دارای فراوانی ۱۳ درصد است که ۱۰ روز از روزهای رگباری در منطقهٔ مطالعه‌شده از این الگو پیروی می‌کند (شکل ۹). در سطح زمین (شکل ۹b)، مرکز کم‌فشار ثانویه‌ای مستقر در نیمهٔ شرقی کشور با شیو زیاد بسته شده است که کم‌فشار

مستقر بر روی کشور عربستان با پربند بستهٔ ۱۰۱۰ هکتوپاسکال باعث تقویت این سیستم جوی شده است.

حرکت پادساعتگرد زبانه‌های این سیستم باعث انتقال رطوبت به دامنهٔ جنوبی البرز شده است. بنابراین، با توجه به تأثیرگذاری لایه‌های فوقانی جو و همگرایی بالایی که سیستم در سطح زمین داشته، ابرهای جوششی در منطقه تشکیل شده و بارش‌های نسبتا خوبی در نقاط مختلف از جمله شمیران تهران (٤٥ میلیمتر)، تهران (۳۸ میلیمتر)، کاشمر(۳٤ میلیمتر) و سبزوار (۳۰/۵ میلیمتر) ثبت شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل 9a)، این الگو مرکز کم‌ارتفاعی در شمال غرب دریای سیاه تشکیل شده که دارای ناوه‌ای با محور شمال غرب، جنوب شرقی است. وجود پشتهٔ امگا در مقابل این مرکز کم‌ارتفاع باعث بلاک شدن و کندی حرکت آن شده و شاهد گرادیان خوب کانتوری و واگرایی مناسب در منطقهٔ مطالعه‌شده هستیم. بررسی تغییرات امگا نشان‌دهندهٔ هم-خوانی و تطبیق ناپایداری‌های تشخیص داده شده در سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال است.

وجود مراکز امگای منفی در منطقه نشان‌دهندهٔ حرکات صعودی شدید در منطقهٔ ایجاد بارش‌های رگباری با حجم بالا است (شکل 9c). آن‌چه نقشهٔ تاوایی تراز ۷۰۰ در این الگو نشان می‌دهد وجود تاوایی مثبت در منطقه است که با هم‌خوانی با نقشهٔ سطح زمین، حرکات صعودی جریانات جوی، تراکم و تشکیل ابرهای جوششی در منطقه و وقوع بارش‌های رگباری را تأیید می‌کند (شکل 9d).



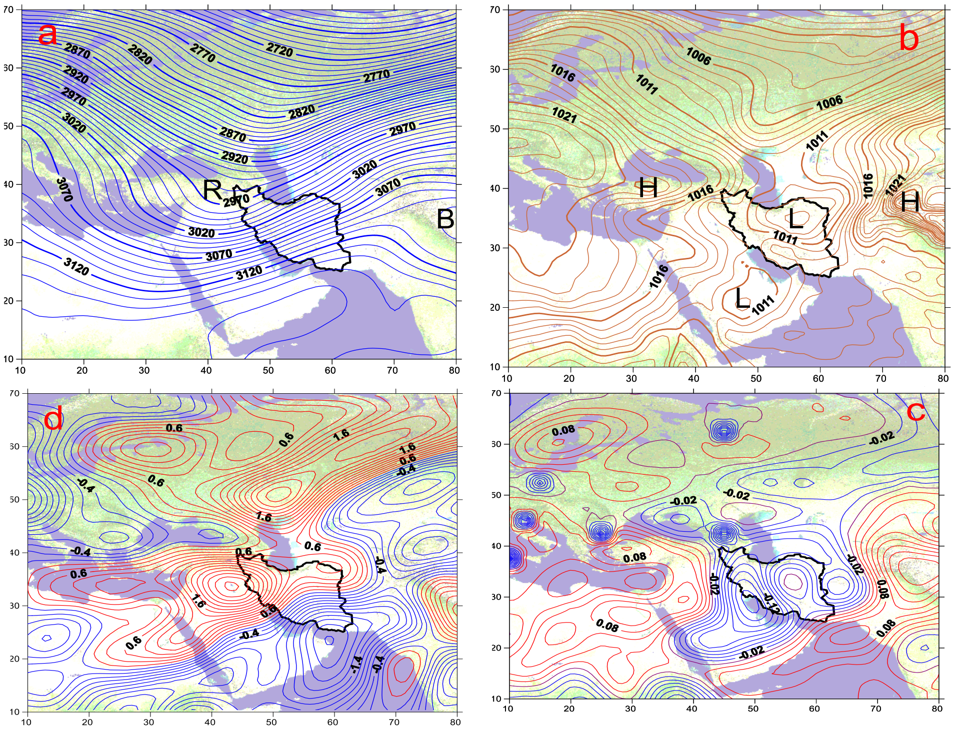


شکل ۹- نقشهٔ الگوی بلاکینگ شمال شرق ایران (a= ارتفاع‌تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

الگوی شیو ارتفاعی زیاد (خوشهٔ ۷): دارای فراوانی ۱۰ درصد است و ۸ روز از روزهای دارای بارش رگباری در منطقه از این الگو پیروی می‌کنند (شکل۱۰). در تراز سطح زمین (شکل ۱۰b)، یک سیستم کم‌فشاری با مرکزیت ۱۰۰۸ هکتوپاسکالی در نواجی جنوب شرقی دریاچهٔ خزر تشکیل شده است که به دلیل بسته بودن سیستم و نیز قرارگیری و مانع بودن پرفشار با مرکزیت ۱۰۲٦ هکتوپاسکال در مرزهای شرقی کشور، جابه جایی سیستم به‌کندی صورت گرفته است. ضمن این‌که گرادیان فشاری سیستم باعث تقویت و گسترش همگرایی در سطح زمین و صعود سریع جریانات جوی و تشکیل ابرهای کومولونیمبوس در منطقهٔ فعالیت سیستم شده است. حرکت پادساعتگرد سیستم کم‌فشار باعث انتقال رطوبت از منطقهٔ دریاچهٔ خزر به ناحیهٔ جنوبی و جنوب غربی رشته‌کوه البرز و بارش‌های رگباری با حجم بالا در مناطق داخلی ایران خصوصا نواحی ذکرشده، شده است (تفرش ٤۳ میلیمتر، تهران ۳۹ میلیمتر و خرمدره ۲٦ میلیمتر). ضمن این‌که در ناحیهٔ غربی این سیستم، تأثیر ایزوبار ۱۰۱۱ هکتوپاسکال متأثر از سیستم پرفشار اروپایی و عبور آن از ناحیهٔ غربی خزر و جذب و انتقال رطوبت به دامنهٔ شرقی زاگرس، باعث افزایش حجم بارش در این ناحیه، از جمله در شرق اصفهان به میزان ۳۵ میلیمتر شده است. هم‌گرایی شدید ایجادشده در منطقهٔ این سیستم باعث افزایش شدت وزش باد نیز شده است. در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱۰a)، تشکیل سامانهٔ کم‌ارتفاع و ناوهٔ واقع در مرزهای غربی کشور با گرادیان

کانتوری بالا و قرار گیری منطقهٔ مطالعه‌شده در جانب شرق ناوه با کمک به شرایط سطح زمین باعث افزایش قدرت فعالیت سیستم شده است. بنابراین، افزایش ناپایداری و افزایش حجم بارش‌ها را به دنبال داشته است. بررسی تغییرات امگا، نشان‌دهندهٔ هم‌خوانی و تطبیق مناسب آن با ناپایداری‌های تشخیص داده شده در سطح زمین و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی است. شاخص امگا در منطقهٔ شرق زاگرس و دامنهٔ جنوبی البرز، دارای بزرگترین مقادیر امگای منفی است که طبق آمار بیشترین ناپایداری و بالاترین حجم بارش رگباری در همین ناحیه رخ داده است (شکل ۱۰c). با بررسی الگوی تاوایی مستقر در منطقه مشخص می‌شود بیشترین تاوایی (تاوایی مثبت) منطبق با منطقهٔ ناپایدار است. این مقادیر نشان‌دهندهٔ صعود جریانات جوی از لایه‌های پایین، ایجاد هم‌گرایی در سطح زمین و گسترش واگرایی در سطوح فوقانی بوده که موجب صعود رطوبت، تراکم و تشکیل ابرهای جوششی در منطقه و وقوع بارش‌های رگباری در ناحیه است (شکل ۱۰d).



شکل ۱۰- نقشهٔ الگوی شیور ارتفاعی زیاد (a= ارتفاع تراز ۷۰۰، b= هم‌فشار سطح زمین، c= امگای تراز ۷۰۰، d= تاوایی تراز ۷۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶

جمع‌بندی تحلیل خوشه‌های هفت‌گانه در منطقهٔ مطالعه‌شده در جدول شمارهٔ ۲ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود وجود ناوهٔ مستقر در غرب منطقه و بلاکینگ و سرد چال در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، وجود سامانهٔ کم‌فشار عربستان و شرق ایران و سامانهٔ پرفشار مستقر در شمال منطقه، پدیده‌های هم‌دید غالب روزهای توأم با بارش‌های رگباری در منطقهٔ مطالعه‌شده است

جدول ۲- جمع‌بندی ویژگی خوشه‌های هفت‌گانهٔ الگوهای هم‌دید منطقهٔ مطالعه‌شده

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹٦

خوشه	تعداد روز	درصد	میانگین بارش رگباری خوشه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ایستگاه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ماه	الگوی غالب هم‌دیدی
سردچال دریای سیاه	۱۷	۲۱	۷/۵	شمیران ۳۲ ، کاشان ۲۹/۲ ، تهران ۲۹	اکتبر، می، آوریل	ناوهٔ عمیق دریای سیاه (سردچال)، بلاکینگ، کم-فشار عربستان
ناوهٔ غرب ایران	۱۱	۱٤	۵/۹	آوج ۲۸، تفرش ۲۷، خرمدره ۲٦/۷	اکتبر۲، می	ناوهٔ غرب ایران، پرارتفاع جنب حاره، کم‌فشار عربستان، پرفشار غرب خزر (قفقاز)
ناوهٔ عمیق شمال غرب ایران	۱٦	۲۰	۹/۱	سلفچگان ۷۰,٦، آباده ۵۷ ، شهر بابک ٤	مارس، دسامبر، می	ناوهٔ عمیق غرب ایران، کم فشار جنوب خلیج فارس و عربستان
پشتهٔ شمال ایران	۱٤	۱۷	٦/۷	قم ٤۰، آوج ۳۵، بیرجند ۲۹	مارس۲، آوریل	ناوهٔ عمیق غرب ایران، کم فشار عربستان، پرفشار دریاچهٔ آرال
سردچال شمال ایران	٤	۵	۸/۳	خرمدره ۵۳، شمیران تهران ۳٦، شهرضا ۳۳	مارس۳	سرد چال، کم‌فشار عربستان، کم‌فشار شرق ایران، پرفشار شمال مدیترانه

ادامه جدول ۲

خوشه	تعداد روز	درصد	میانگین بارش رگباری خوشه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ایستگاه (میلیمتر)	بیشترین بارش رگباری ثبت شده در ماه	الگوی غالب هم‌دیدی
بلاکینگ شمال شرق ایران	۱۰	۱۳	۸/۲	شمیران تهران ٤٥، تهران ۳۸، کاشمر ۳٤	آوریل۲، مارس	بلاکینگ، کم‌فشار عربستان، کم فشار شرق ایران، پرفشار سیبری
شیو ارتفاعی زیاد	۸	۱۰	۷	تفرش ٤۳، تهران ۳۹، شرق اصفهان ۳۵	مارس فوریه۲	ناوهٔ ضعیف، شیو ارتفاعی زیاد ، کم‌فشار شرق ایران، پرفشار اروپا
جمع	۸۰	۱۰۰	۷/۵	سلفچگان ۷۰/٦ و آباده ۵۷ و خرمدره ۵۳	مارس - آوریل - می	ناوهٔ مستقر در غرب منطقه و بلاکینگ و سرد چال، کم فشار عربستان و شرق ایران و سامانهٔ پرفشار مستقر در شمال منطقه

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی جلوگیری از خسارات رگبارهای شدید و پیش بینی سیلاب‌ها است. بر اساس روش‌های متداول هیدرولوژیست‌ها، پیش‌بینی سیلاب‌ها پس از شروع بارش‌های رگباری امکان پذیر است که معمولا وقت کافی برای عملیات آمادگی وجود ندارد و در هر صورت خسارت‌های رگبارها و سیلاب غیر قابل اجتناب می‌شود؛ اما اگر هواشناسان، الگوهای گردشی به وجود آورنده را شناسایی کنند می‌توان از حداقل یک یا دو روز قبل، با رؤیت آغاز توالی الگوهای مختوم به ایجاد بارش‌های رگباری و سیل، وقوع آن را پیش‌بینی کرد. در این صورت فرصت کافی برای ایجاد آمادگی‌های لازم وجود دارد.

بررسی الگوهای تراز فوقانی جو در منطقهٔ مطالعه‌شده نشان‌دهندهٔ این مطلب است که بیشترین حجم بارش‌ها زمانی رخ داده که سیستم‌ها به شکل بلاکینگ تشکیل شده و مرکز پرارتفاع جنب حاره به عرض‌های جنوبی‌تر انتقال یافته است. به طور کلی در تحلیل الگوهای هم‌دید ترسیم‌شده بر اساس داده های تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال باید اشاره شود که در بین الگوهای به دست آمده از خوشه‌بندی داده-های سطح فوق، بیشترین تعداد روزهای دارای رگبار در منطقهٔ مطالعه‌شده از الگوی سردچال دریای سیاه (۱) و ناوهٔ عمیق شمال غرب ایران (۳) پیروی می‌کنند. این الگوها بیشتر در فصل بهار (در ماه‌های مارس، آوریل و می) شکل گرفته است. بیشترین مقادیر بارش در این الگو در نواحی غربی و شمال غرب منطقه رخ داده است. بررسی این الگو نشان‌دهندهٔ وجود یک مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته بر روی دریای سیاه است. این مرکز کم‌ا رتفاع، باعث گرادیان کانتوری در منطقه شده و در حین حرکت خود موجب شکل‌گیری و توسعهٔ امواج کژفشاری در مناطق شرقی ناوه شده است. بسته بودن مرکز کم‌ارتفاع (سرد چال) باعث کندی حرکت سامانه‌های غربی بر روی مناطق کوهپایه‌ای داخلی ایران و ادامهٔ بارش‌ها شده است. از طرفی در این الگو نواحی غربی و شمال غرب منطقهٔ مطالعه‌شده، تحت تأثیر پرفشار ۱۰۲۵ هکتوپاسکال غرب اروپا است و نواحی شرقی منطقه تحت تأثیر مرکز کم-فشار قرار دارد. در این الگو وجود پشته‌ای قوی در شمال دریای مدیترانه و نیز سردچالی عمیق در شرق دریای سیاه باعث تقویت کژفشاری در سطح زیرین جو شده است. بنابراین، با توجه به همگرایی خوب در تراز پایین، مهیا بودن شرایط برای صعود و تاوایی مثبت بالا و نیز واگرایی در ترازهای بالایی جو، بارش‌های رگباری مناسبی (بیش از ٤۰ میلیمتر) به‌ویژه در نواحی شمال غرب منطقه قابل مشاهده است. در این الگو انتقال رطوبت خصوصاً در نواحی شمال غرب و غرب منطقه از روی دریای خزر و توسط زبانه‌های پرفشار صورت گرفته است و علاوه بر آن نقش حرکت چرخندی سیستم‌های جنوب غربی را نیز در انتقال رطوبت دریای عرب و خلیج فارس به منطقه و تقویت رطوبت نمی‌توان نادیده گرفت. در ۷ الگوی هم‌دیدی شکل‌گرفته در این خوشه‌بندی سیستم‌های کم‌فشار جنوب و جنوب غربی در ایجاد همگرایی سطوح پایین و بارش‌های رگباری از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بارش-های با حجم بالا زمانی رخ داده که در لایه‌های فوقانی جو سیستم‌هایی به صورت سرد چال یا مرکز کم‌ارتفاع عمیق و قوی بسته ظاهر شده‌اند. همچنین، وجود پشتهٔ قوی در غرب اروپا و ریزش هوای

سرد عرض‌های بالا باعث تقویت مرکز فرابار در تراز پایین شده و زبانه‌های آن باعث ایجـاد جریانـات شمالی شده و تزریق رطوبت خزری به نواحی غربی منطقهٔ مطالعه‌شده را موجب شده است.

بنابراین پیشنهاد می‌شود با توجه به اهمیت اقتصادی و اجتماعی ناحیهٔ کوهپایه‌ای داخلی ایـران کـه زیست‌بوم‌های شکننده و حساس کوهپایه‌ای دارند که در اثر بارش‌هـای رگبـاری، فرسـایش خـاک و تخریب آبخیزها و تأسیسات شهری و صنعتی اتفاق افتاده و با توجه بـه زیان‌هـای بسـیار اقتصـادی و اجتماعی ناشی از رگبارها و جریان سیلاب‌های ویرانگر غیرطبیعی ناشی از تخریـب آبخیزهـا کـه آثـار زیانبار فراوان در بخش‌های مهم عمرانی و اقتصادی منطقه، از قبیل کشاورزی، دامداری، آب و برق، راه و ارتباطات، مسکن و منـابع طبیعـی و غیـره بـه جـای می‌گـذارد، روشـن اسـت کـه اگـر بخـواهیم سرمایه‌گذاری‌های گستردهٔ دولت و بخش خصوصی (مردم) در ایـن زمینـه‌ها بـه توسـعهٔ دراز مـدت، مستمر و پایدار اقتصادی بیانجامد، باید برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری و سیسـتم‌هـای هشـدار بارش‌های رگباری و سیل را به‌عنوان زیربنای اقدامات پیشگیرانه در جهت توسعهٔ پایدار گسترش داد.

کتاب‌نامه

۱. امیدوار، ک. (۱۳۹۰). *مخاطرات طبیعی*. یزد: دانشگاه یزد.

۲. امیدوار، ک. (۱۳۹۲). *آب و هواشناسی هم‌دیدی*. یزد: دانشگاه یزد.

۳. امیدوار، ک.، حسن بیگی، س. و رحیمی، ک. (۱۳۹۲) تحلیل سینوپتیکی بارش‌هـای سـنگین پـاییزهٔ تهـران. *نخستین کنفرانس ملی آب و هواشناسی*، ۱۳۹۲، (صص. ٤۹٥–٤۸٦). دانشگاه کرمان.

٤. امیدوار، ک.، محمودآبادی، م. و صفرپور، ف. (۱۳۹٤). بررسی و تحلیل هم‌دیدی بارش‌های سـنگین بهمـن ۱۳۸۹ در مناطق جنوبی و مرکزی ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ٥۱، ۳۹–۲۱.

٥. براتی، غ.، بداق جمالی، ج. و ملکی، ن. (۱۳۹۱). نقش واچرخندها در رخداد بارش‌های سـنگین دهـهٔ اخیـر غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ٤٤ (۸۰)، ۹۸–۸٥

٦. جوانمرد، س. و آسیایی، م. (۱۳۸۳). *فرهنگ اصطلاحات هواشناسی و اقلیم‌شناسی*. مشهد: سخن گستر.

۷. خوشحال دستجردی، ج. (۱۳۷٦). تحلیل و ارائهٔ مدل هم‌دیدی کلیماتولوژی برای بارش‌های بـیش از صـد میلیمتر در سواحل دریای خزر. *رسالهٔ دکتری* اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران.

۸. درگاهیان، ف.، علیجانی، ب. و محمدی، ح. (۱۳۹۳) بررسی سینوپتیکی الگوهای فشار مرتبط با بلاکینگ مؤثر بر رخداد بارش‌های مداوم و سنگین ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۰، ۱۷۳–۱٥٥.

۹. زارع نیستانک، م. (۱۳۹٤). تحلیل هم‌دیدی بارش شدید منجر به سیل ۱۳۹٤/٤/۲۸ استان‌های تهران و البرز. *همایش ملی بحران آب و مدیریت آب در مناطق خشک ایران*، ۱۳۹٤، دانشگاه یزد.

۱۰. صالحی، ح.، ثنایی‌نژاد، ح. و موسوی بایگی، م. (۱۳۹۳). بررسی شاخص‌های ناپایداری هنگام وقوع پدیده‌های آب و هوای مخرب در مشهد. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹، ۱۲۳–۱۱۳.

۱۱. عزیزی، ق. و صمدی، ز. (۱۳۸٦). تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ٦۰، ۷٤–٦۱.

۱۲. علیجانی، ب. (۱۳۸۸). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*. تهران: سمت.

۱۳. فتاحی، ا. و رضیعی، ط. (۱۳۸۸). الگوهای گردش جوی روزانه بر روی ایران. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲٤(۲)، ٦۰–٤٥.

۱٤. گندمکار، ا. (۱۳۹۱). مدیریت بحران وقوع سیل در شهر اصفهان با استفاده از سامانه‌های جوی. *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۰٥، ۱۲۸–۱۱٥.

۱٥. معصوم پورسماکوش، ج.، میری، م.، ذوالفقاری، ح. و یاراحمدی، د. (۱۳۹۲) تعیین سهم بارش‌های هم‌رفتی شهر تبریز بر اساس شاخص‌های ناپایداری. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۳۱، ۲٤٥–۲۲۷.

۱٦. معصومپور سماکوش، ج.T میری، م. و رحیمی، م. (۱۳۹٥). واکاوی آماری – هم‌دیدی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ٤۲ (۳)، ۷۰۸–٦۹۷.

۱۷. مفیدی، ع.، ذرین، آ. و جانباز قبادی، غ. (۱۳۸٦). تعیین الگوی هم‌دیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۳ (۳)، ۱٥٤–۱۳۱.

18. Chen, C.-S., Lin, Y.-L., Peng, W. C., & Liu, C.-L. (2010). Investigation of a heavy rainfall event over southwestern Taiwan associated with a sub-synoptic cyclone during the 2003 Mei-Yu season. *Atmospheric Research, 95*(2), 235-254.

19. Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X.-W., Wolter, K., & Cheng, L. (2016). Characterizing recent trends in U.S. heavy precipitation. *Journal of Climate, 29*(7), 2313-2332.

20. Kašpar, M., & Müller, M. (2010). Variants of synoptic-scale patterns inducing heavy rains in the Czech Republic. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 35*(9), 477-483.

21. Keim, B. D. (1996). Spatial, synoptic, and seasonal patterns of heavy rainfall in the southeastern United States. *Physical Geography, 17*(4), 313-328.

22. Tramblay, Y., Neppel, L., & Najib, K. (2010, September). *Heavy rainfall events in the Languedoc region (France): Relationships with synoptic patterns*

and frequency analysis. Paper presented at the 12th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Corfu Island, Greece.

23. Yonetani, T. (1982). Increase in number of days with heavy precipitation in Tokyo urban area. *Journal of Applied Meteorology*, *21*(10), 1466-1471.